

推薦論文

# 多感覚コンテンツの音情報から生成した床振動の高次感性促進効果

崔 正烈<sup>1,2,a)</sup> 柳生 寛幸<sup>1,2</sup> 坂本 修一<sup>1,2</sup> 鈴木 陽一<sup>1,2</sup> 行場 次朗<sup>3</sup>

受付日 2018年2月2日, 採録日 2018年9月7日

**概要:** 臨場感や迫真性といった高次感性は、視聴覚だけでなく振動を含む体性感覚情報の提示にも強く影響される。我々は、提示するマルチモーダル感覚情報の特性と表出する高次感性の関係について検討を行い、振動情報が高次感性に重要な役割を果たすことを示した。しかし、多感覚コンテンツのほとんどは視聴覚情報のみで構成されており、振動情報の取得は比較的困難である。本研究では、振動情報を手軽に作成する方法として、視聴覚コンテンツの音情報から振動情報 (ViLA: vibration from low-frequency audio signal) を生成する手法を提案し、構築した振動情報が高次感性評価にどのような影響を及ぼすかを検討した。その結果、多感覚コンテンツの体験中および体験後ともに、構築した振動刺激の振幅条件によっては実測振動よりも印象強度が高まる場合のあることが示された。

キーワード: 臨場感, 迫真性, 多感覚コンテンツ, 生成振動情報

## How Can Body Vibration Generated from Audio Signal in AV Content Enhance Perceived Reality?

ZHENGLIE CUI<sup>1,2,a)</sup> HIROYUKI YAGYU<sup>1,2</sup> SHUICHI SAKAMOTO<sup>1,2</sup> YÔITI SUZUKI<sup>1,2</sup>  
JIRO GYOBA<sup>3</sup>

Received: February 2, 2018, Accepted: September 7, 2018

**Abstract:** We previously reported that full-body vibration can enhance perceived reality of multimodal contents. However, almost all contents available easily only include audio-visual information. We are, therefore, investigating how to generate effective vibration information from other sensory information, especially from sound. In this study, vibration information was generated from low frequency components of audio signal (ViLA, vibration from low-frequency audio signal) and added to audio-visual content. The results of subjective evaluation experiment revealed that ViLA can enhance perceived reality from multi-modal contents during the presentation of the content as well as after the replay.

**Keywords:** sense of presence, sense of verisimilitude, multimodal contents, generated vibration information

### 1. はじめに

エンタテインメントの多様化の中で、エンタテインメン

トシステムの役割はますます大きくなっている。近年の情報技術の進歩は視聴覚だけでなく触覚や嗅覚、体性感覚などより多くの感覚情報を含む多感覚コンテンツの作成を可能にしつつあり、エンタテインメントシステムにおいても多感覚コンテンツのさらなる多様な応用が期待されている。多感覚コンテンツをより効果的なものとするには、情報の受け手となる人間を考慮した情報提示システムの設計

<sup>1</sup> 東北大学電気通信研究所  
Research Institute of Electrical Communication, Sendai,  
Miyagi 980-8577, Japan

<sup>2</sup> 東北大学大学院情報科学研究科  
Graduate School of Information Sciences, Tohoku University,  
Sendai, Miyagi 980-8577, Japan

<sup>3</sup> 東北大学大学院文学研究科  
Graduate School of Arts and Letters, Tohoku University,  
Sendai, Miyagi 980-8576, Japan

a) sai@ais.riec.tohoku.ac.jp

本論文の内容は2017年9月のエンタテインメントコンピューティングシンポジウム2017にて報告され、プログラム委員長により情報処理学会論文誌ジャーナルへの掲載が推薦された論文である。

がいつそう求められている [1], [2]. 情報提示システムの高度化には, 空間情報の表出性能の向上が不可欠の要素である. その実現には, 「あたかもその場にいるような感じ」や「本物らしい感じ」といった空間に対する高次感性知覚を利用者に生起させることがきわめて重要である. そのためには, 人間の空間に対する高次感性知覚の創出要因を明らかにする必要があると考えられる.

空間に対する高次感性として, 臨場感 (sense of presence) に関する検討が広く行われてきた. 臨場感は, 「あたかもその場にいるような感じ」と定義され, バーチャルリアリティ (VR) システムの高次感性評価において最も一般的な測定基準として用いられてきた [3], [4], [5]. 臨場感は, 映像の視野サイズ [6] や, 提示音の音圧レベル [7] などの量的増加にともない印象強度が増加する特性を持っており, 人間を取り巻く空間, すなわち背景的な「場」の感性に関する多次元評価指標である [8]. 一方, 空間の評価には背景的要素のみではなく, 前景に関係する知覚について理解することも重要であると考えられる. たとえば, コンサートホールで音楽を鑑賞する場合, 我々は周辺の観客やホールなどの背景的な「地」の要素に囲まれながら, ステージ上の演奏者である前景的な「図」の要素に注意を向けており, 前景情報もリアルに再現されることが求められる [9]. 心理学分野においても, 前景 (図) と背景 (地) とでは別々の知覚情報処理系が働いているという知見が示されている [10].

このような知見に基づいて, 我々は, 前景的要素を主要因とする感性が存在することを予測し検討した結果, 迫真性 (sense of verisimilitude) という感性指標を提案し, これが臨場感とは異なる特性を持つ感性であることを確認している [9], [11], [12]. 臨場感という背景的要素を主要因とする感性指標と, 前景的要素を主要因とする迫真性という2つの感性指標を用いて空間を評価することで, 空間に対する高次感性知覚をより多角的により正しく評価できると考えられる. そこで, 我々は臨場感と迫真性を評価指標として, 空間に対する高次感性の印象と感覚情報との関係について検討を行ってきた [13], [14]. その結果, 視聴覚情報だけではなく全身振動情報も空間に対する高次感性に重要な役割を果たすことを示してきた [14], [15], [16].

しかし, 一般的なマルチメディアコンテンツにより提示される感覚情報は, 視覚情報と聴覚情報がほとんどである. このようなコンテンツにおいて, より高い感性を知覚させるべく振動情報を付加提示するためには, 何らかの情報から振動情報を作り出す必要がある. 振動情報の発生タイミングについて考えると, 一般的には物体どうしが衝突する場合や, 重量物が動くことにより振動が生じる場合が多く, このとき同時に音情報も生じると考えられる. そのため, 音情報には振動情報と同期した情報が多く含まれる可能性が高い. したがって, 音情報から生成した振動情報により, 実測振動を用いたときのように高い感性を誘起さ

せることができると考えられる [17].

以上の理由から, 本研究では振動情報を手軽に作成する方法として, 視聴覚コンテンツの音信号の低周波数成分 (< 70 Hz) から全身振動情報を生成し (ViLA: vibration from low-frequency audio), 音情報から生成された全身振動 (ViLA) が空間に対する高次感性にどのような影響を及ぼすかを検討した. 高次感性の評価には, 先行研究と同様に臨場感および迫真性を感性指標として用い [13], [14], [15], [16], ViLA を振動刺激とした場合の両感性指標の特徴について比較検討した.

なお, 2018年1月に国内男子プロバスケットボールリーグ (Bリーグ) と富士通が共同で実施した Bリーグ試合中継では, 熊本の試合会場と東京のビューイング会場をリアルタイムに結び, 会場の両サイドには試合中のコートの振動を再現した「振動体感エリア」も設置されるなど, 振動を含むマルチモーダル感覚情報の伝送実験を実施している [18]. 本研究が目指すように, 振動情報を手軽に作成する方法の確立は, スポーツライブ中継への応用を含め新たな産業的価値を生むものと考えられる.

## 2. 実験方法

### 2.1 被験者

被験者は, 正常な視覚 (矯正を含む) と聴覚を有する大学生および大学院生 14 名 (男性 13 名, 女性 1 名, 平均年齢  $22.0 \pm 1.0$  歳) であった. これを, 臨場感と迫真性それぞれの感性指標のグループ間で同じ人数となるように割り当てた. その結果, 臨場感は男性 7 名, 迫真性は男性 6 名, 女性 1 名となった. なお, 被験者全員の利き手は右であった.

### 2.2 実験刺激

実験刺激として, バスケットボールの試合風景 (3 on 3 形式) の映像, 音, 振動を記録した収録素材から 180s を切り出した. 収録風景を図 1 に示す. 収録素材はビデオカメラ (Panasonic, AG-3DA1) の撮影方向に並ぶように



図 1 撮影風景

Fig. 1 The recording scenery.

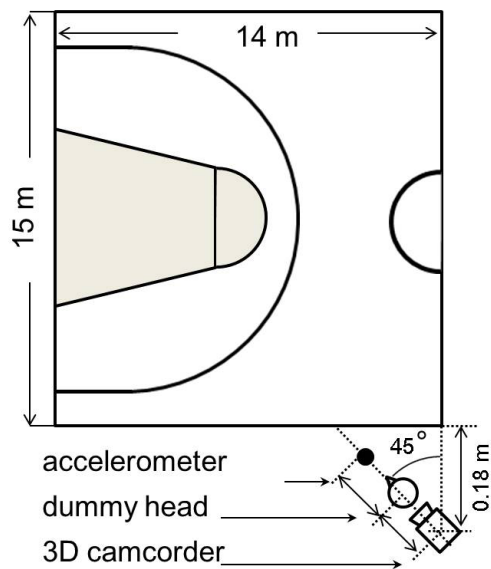


図 2 収録環境  
Fig. 2 Recording environment.

ダミーヘッド（高研，SAMRAI）と加速度ピックアップ（RION，PV-84）を設置し、映像、音、および振動情報を収録した。ところで、振動知覚に影響を及ぼす周辺要因として、固体伝搬音や空気伝搬音などの影響も考えられる [19]。すなわち、人の体性感覚は、床経由の振動だけでなく空気経由の振動も感じる可能性がある。本研究では、バスケット試合において空気経由の振動が身体的な揺れとして感じられるほど強くないと判断し、空気経由の振動による影響は本研究では取り上げなかった。

視聴覚刺激と加速度ピックアップの設置場所、および試合場所の広さなどの収録環境を図 2 に示す。音刺激は、ビデオカメラに 2 つのコンデンサマイクروفフォン（B&K，4101）を接続し、これをダミーヘッドの両耳に取り付けて映像と時間同期の取れた音情報をバイノーラル録音 [20] した。振動は、床面に加速度ピックアップをしっかりと固定して上下方向の振動変位を測定した。加速度ピックアップとコンデンサマイクروفフォンの出力を AD 変換器（小野測器，DS-0264）に接続し、PC で振動の変位、および振動と音声との同期信号を記録した。この同期信号を用いて、振動刺激と視聴覚刺激との時間同期をとった。

本実験で使用する振動は、JIS C1510 における振動感覚の周波数特性 [21] と、本実験で使用するモーションプラットフォーム（D-BOX MASTERING MOTION，D-BOX）の再生能力を総合的に考慮して、70 Hz 以下の周波数帯域のみとした。実測値については、収録した振動に対して遮断周波数 70 Hz の低域通過フィルタを適用した振動情報を用いた（実測床振動）。音情報から生成した振動情報については、ダミーヘッドによりバイノーラル録音した音情報をモノフォニック変換（左右チャンネル信号の和の振幅を平均化）したあとに遮断周波数 70 Hz の低域通過フィルタを

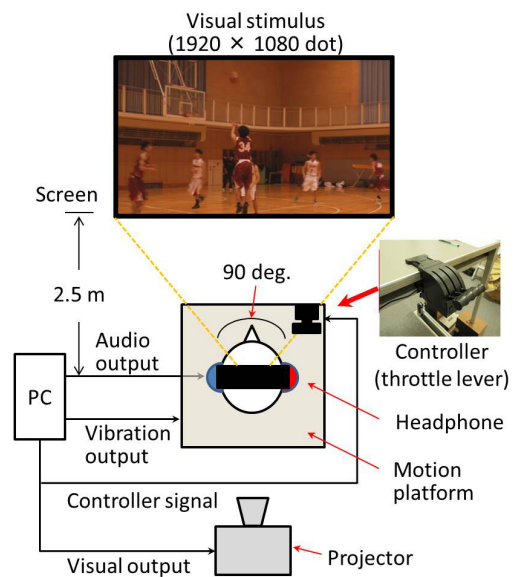


図 3 実験環境の概要  
Fig. 3 Experimental setup.

適用し、実測した振動振幅の RMS と同じときを 0 dB とし、 $-9$  dB、 $-6$  dB、 $-3$  dB、 $0$  dB、 $+3$  dB の ViLA 振動情報を作成した。振動条件は、音情報から生成した振動情報（ViLA）5 条件と、実測床振動条件（Original）、および振動なし（No vib）の合計 7 条件とした。振動情報と同時に提示される視聴覚情報については、収録素材を 180 s で切り出す以外の編集を行わずに実験刺激とした。

なお、ヒトの振動に対する感じ方（振動感覚特性）は周波数帯域によって異なり、上下振動の場合、加速度では  $4\sim 8$  Hz、速度では 50 Hz までが人間が感じやすい物理量である [22]。そこで、5 つの ViLA 振動条件について、JIS C1510 [21] に定める振動感覚の周波数補正を用いて、周波数領域の感覚補正を行った。その結果、求められた振動レベル（感覚補正つき振動加速度レベル）の Original 条件に対する相対値は、ViLA  $-9$  dB 条件で  $+6$  dB、ViLA  $-6$  dB で  $+9$  dB、ViLA  $-3$  dB で  $+12$  dB、ViLA  $0$  dB 条件では  $+15$  dB、ViLA  $3$  dB 条件で  $+18$  dB の値となった。

### 2.3 実験環境

実験環境の概要を図 3 に示す。実験は防音シールド室で行われた。収録素材の視覚刺激（解像度： $1920 \times 1080$  pixel，フレームレート：30 fps），聴覚刺激（サンプリング周波数：48 kHz，量子化ビット数：16 bit），および全身振動となる振動刺激（サンプリング周波数：8 kHz，量子化ビット数：16 bit）を、それぞれ DLP プロジェクタ（SANYO，PDG-DHT100JL），密閉型ヘッドフォン（SENNHEISER，HDA-200），モーションプラットフォーム（D-BOX，MASTERING MOTION）から提示した。振動方向は上下方向のみとした。被験者には、モーションプラットフォーム上に自然な姿勢で直立し、プロジェクタから背面投影される映像を観

察するように求めた。被験者の立ち位置からスクリーンまでの距離を 2.5 m とし、映像提示画角は被験者からおよそ 90 deg (水平方向) として映像を表示した。また、被験者の利き手側にスロットレバー型コントローラ (SAITEK, Throttle Quadrant) を設置した。このコントローラは上下方向のみに滑らかに可動し、レバー位置を保持することもできる。可動範囲は 0~90 deg, 最小可動角度はおおよそ 0.5 deg であった。

## 2.4 実験手続き

実測床振動 (Original) 1 条件, 音情報から生成した振動情報 (ViLA) 5 条件, 振動なし (No vib) の合計 7 条件を, 被験者に対しカウンタバランスをとって提示した。被験者は臨場感を評価するグループと迫真性を評価するグループの 2 つに分け, 割り振られた感性指標についてのみ回答を依頼した。実験に先立って, それぞれのグループに, 臨場感とは「その場にいる感じ [8]」, 迫真性は「本物らしい感じ [9]」と定義して評価するように求めた。被験者は, 試行ごとに体験中および体験後の印象強度を回答した。

実験の流れは以下のとおりである。初めに被験者の正面方向となるスクリーン位置に十字の注視点が表示される。その後, 180 s 間の実験刺激が提示される。この間, 手元のコントローラを操作して, コントローラのレバーの回転角度と, 試行中に体感した感性指標の印象強度が時間的にできるだけ一致するように回答するように教示した。このとき, レバー角度が最大 (90 deg) のときを「日常生活で経験する最大の臨場感または迫真性に対応」, 最小 (0 deg) のときを「臨場感または迫真性がまったくない状態に対応」と考えるよう求めた。試行開始時は必ずレバー角度を最小の状態から開始し, 試行中は手元のレバーを見ないで操作して評価するように依頼した。さらに, 実験中において最大角度を超える場合があったときには, 超える状況があったことを試行後に報告するように求めた。なお, 本実験では最大角度を超えて回答した被験者はいなかった。また, 1 試行が終了するごとに, 試行全体の印象強度について評定尺度法による回答を求めた (0: まったくない~6: 非常にある, の 7 段階)。

## 3. 実験結果

### 3.1 高次感性の継時変化

体験中における臨場感および迫真性の印象強度の継時変化を図 4 と図 5 に示す。印象強度の継時変化をみると, 臨場感と迫真性ともに, ほぼすべての振動条件において振動のない場合 (No vib 条件) より印象強度が高いことが分かる。また, ViLA -6 dB と ViLA -9 dB の場合, 臨場感の評価値は Original 振動条件とほぼ同様の水準で推移するのに対し, 迫真性は全区間にわたって Original 条件よりも高い値を示していることが見て取れる。迫真性の場合,

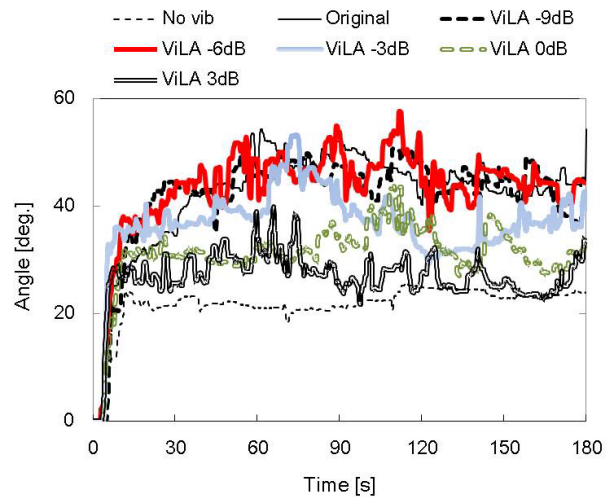


図 4 体験中の印象強度の平均値 (臨場感)

Fig. 4 Perceived reality during the experiment (sense of presence).

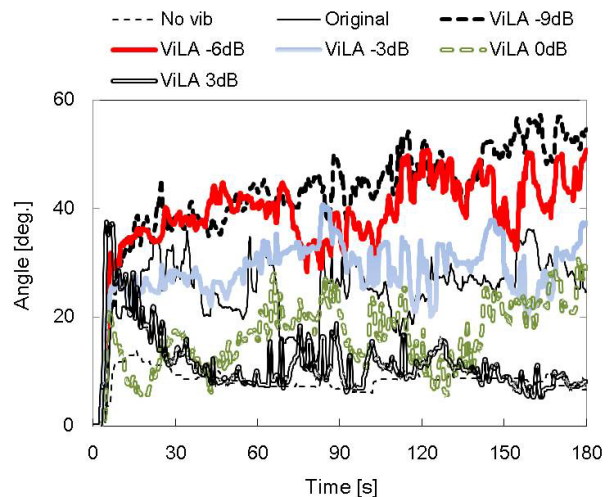


図 5 体験中の印象強度の平均値 (迫真性)

Fig. 5 Perceived reality during the experiment (sense of verisimilitude).

Original 条件における評価値の起伏が大きく, 40~50 s と 70~80 s の間に印象強度が急激に低下する区間が存在した。一方, 同区間の ViLA 振動条件では Original 条件のような印象評価の起伏が見られず, ほぼ一貫して高い印象強度を保っていることが分かる。

### 3.2 体験中の印象評価 (平均値および最大値)

体験中の全区間にわたる印象評価の平均値を図 6 に示す。臨場感および迫真性ともに, 振動を付加した場合の印象強度が No vib 条件より高いことが分かる。また, 印象評価の平均値と振動強度との関係を見ると, 臨場感の場合, Original 振動条件でピークを迎えた後振動振幅が ViLA -6 dB になるまで評価値が飽和した。その後は振動振幅の増加にともなって評価値が下がる傾向にあるが, 下げ幅は小さく緩やかな下降カーブで推移することが見て取

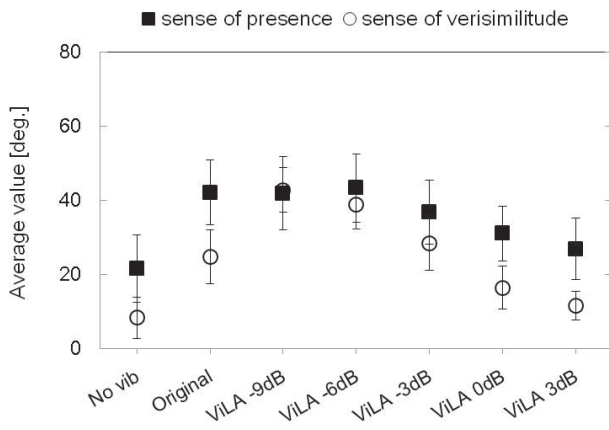


図 6 体験中の印象強度の平均値

Fig. 6 Average value for during the presentation.

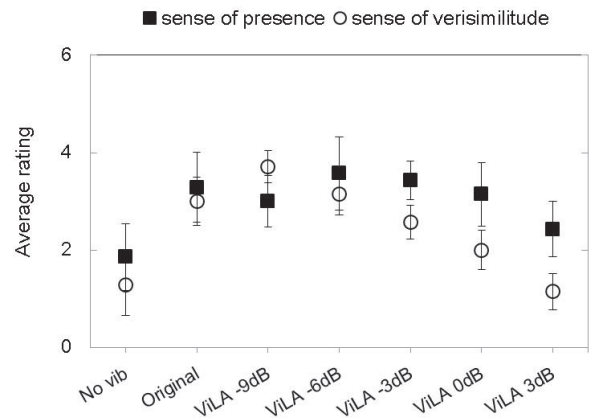


図 8 体験後の印象強度の平均値

Fig. 8 Total impression of the content.

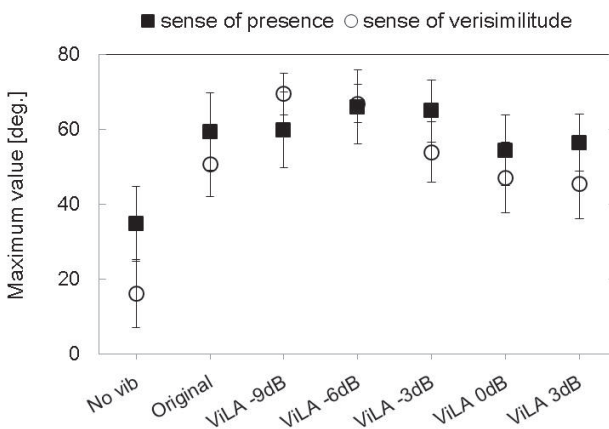


図 7 体験中の印象強度の最大値

Fig. 7 Maximum value for during the presentation.

れる。これに対し、迫真性の場合、ViLA -9 dB 振動条件で評価値のピークを迎えた後、振動振幅の増加にともなって印象評価が急激に下がる傾向が見て取れる。すなわち、臨場感と比べて迫真性評価は振動振幅の変化により敏感に反応しており、ある振動振幅を最大値とした急峻なカーブを描いている。

各振動条件における平均値について、臨場感と迫真性ごとに 1 要因の分散分析を行った。その結果、臨場感の場合は振動条件の主効果に有意差は認められなかった ( $F_{6,36} = 1.288, p = .2874$ )。他方、迫真性の場合、振動条件の主効果が有意であった ( $F_{6,36} = 4.043, p < .005$ )。振動条件について多重比較 (Tukey HSD 法,  $p < .05$ ) を行った結果、ViLA -9 dB と ViLA -6 dB 条件では No vib より印象強度が有意に大きくなった。さらに、ViLA -9 dB の場合は ViLA 3 dB よりも印象強度が大きかった。

各振動条件ごとの体験中における印象評価の最大値を図 7 に示す。印象評価の平均値の結果と同様に、振動を付加した場合の印象強度が No vib 条件より高いことが分かる。また、臨場感は振動強度の大きさに関係なく評価値がほぼ同じ値で推移するのに対し、迫真性評価は振動強度の変化に敏感に反応して変化する様相が見て取れる。

印象評価の最大値について、臨場感と迫真性ごとに 1 要因の分散分析を行った。その結果、臨場感 ( $F_{6,36} = 2.558, p < .05$ )、迫真性 ( $F_{6,36} = 5.461, p < .001$ ) とともに振動条件の主効果が有意であった。振動条件について多重比較 (Tukey HSD 法,  $p < .05$ ) を行った結果、臨場感の場合は ViLA -6 dB, ViLA -3 dB が No vib より印象強度が有意に大きくなった。一方、迫真性の場合、振動のある条件すべて (Original と ViLA の各振動条件) が No vib より印象強度が有意に大きくなった。

### 3.3 体験後の印象評価

コンテンツ体験後に行った臨場感および迫真性についての 7 段階の印象評価の平均値を、図 8 に示す。振動振幅の増加にともなう印象強度の推移は、体験中の印象強度の平均値および最大値の場合 (図 6 と図 7) とほぼ同様の形状を示していることが分かる。体験中の印象評価の場合と同様に、臨場感と迫真性ごとに 1 要因分散分析を行った。分散分析の結果、臨場感の場合は振動条件の主効果に有意差が認められなかった ( $F_{6,36} = 1.123, p = .3686$ )。一方、迫真性の場合、振動条件の主効果が有意であった ( $F_{6,36} = 3.835, p < .005$ )。振動条件の多重比較 (Tukey HSD 法,  $p < .05$ ) を行った結果、ViLA -9 dB 条件は No vib および ViLA 3 dB の場合よりも有意に印象強度が大きくなることが認められた。この結果から、今回の実験に用いた刺激強度の範囲では、振動レベルが実測値に近い低い値の場合ほど、迫真性が高まることが分かる。

## 4. 考察

### 4.1 高次感性の継時変化

体験中の印象評価の継時変化を見ると、臨場感および迫真性ともに、ほぼすべての振動条件において No vib 条件より印象強度が高かった。これは、音情報から生成した振動情報の付加が、実測床振動と同様に空間に対する高次感

性に重要な役割を果たすことを示す。また、迫真性の評価においては、振動条件 ViLA  $-6$  dB と ViLA  $-9$  dB の場合の評価値が Original 条件よりも高かった (図 5)。音情報から生成した振動の振幅条件によっては、実測床振動の場合と比べてより高い「本物らしさ」を提示できる可能性を示唆する。

迫真性の評価において、ViLA の振幅条件によっては Original 振動よりも高い印象強度が得られた理由として、Original 条件における評価値が  $40\sim 50$  s の間と  $70\sim 80$  s の区間で大きく低下したと関連があると考えられる。この区間は、プレーヤ全員が測定ポイントから遠く離れた場所でプレイしており、測定点における Original 振動が非常に小さい時間帯であった。すなわち、ボールが地面を叩く音や足の着地音、ジャッジのホイッスル音など、視聴覚情報によりプレーの流れは感じられつつ、床振動情報はほぼ感じ取れない時間帯であった。今回の実験では、視覚刺激として 2D 映像を使用したため視覚的な奥行感ほとんどなく、上記の時間帯においては被験者とプレーヤとの奥行距離を実距離より短く感じた可能性がある。その場合、実測床振動値がほぼ 0 である上述の時間帯においても「望ましい床振動」としてある程度の身体的な揺れを期待していたと予想される。また、被験者によっては、測定ポイントにおける観測ではなく、プレーヤの視点で感性評価を行った可能性もある。このため、Original 振動では、場面の主役の本物らしさを表す感性指標である迫真性の評価値が急激に下がったと思われる。一方、音情報はコンテンツのほぼ全区間に存在しており、このため音情報から生成した振動の場合は Original 条件のような印象評価の起伏が見られず、ほぼ一貫して高い印象強度を保っていたと考えられる。以上の考察は、物理的な床振動の忠実な反映が必ずしも高い高次感性をもたらすとはいえないことを示唆する。

#### 4.2 臨場感評価の特徴

体験中と体験後の臨場感評価の平均値および最大値の推移 (図 6~8) を見ると、有意差は認められなかったものの、振動のある場合がない場合と比べて印象強度が増加し、振動強度が ViLA  $-6$  dB 程度で評価値が飽和した。その後、振動強度がさらに増加し ViLA  $3$  dB になると、評価値は下がる傾向にあった。JIS C1510 に定められた感覚補正のための周波数重み付けの結果である振動レベルで考えると、音情報から生成した振動は全体的に実測床振動より大きい値であり、特に  $3$  dB の場合は、実測床振動よりも  $+18$  dB と非常に大きい振動感覚である。先行研究では、臨場感は音圧や振動振幅といった物理量に対し実際の値をかなり超えても単調増加傾向を示す心的指標であるとの知見が示される一方 [11], [14], 刺激強度が実際よりも過剰に大きい場合は、臨場感指標においても飽和現象が起きるとの報告もなされている [15], [23]。今回の実験条件においても、 $3$  dB

条件では振動値が過剰に大きく、評価値が飽和もしくは低下した可能性が考えられる。

今回の実験範囲内では、先行研究 [13], [14], [15], [16] で示された「振動刺激の物理量の増加にともなう臨場感評価の単調増加」という臨場感の特性は確認できなかった。前述のように、JIS C1510 [21] に定める振動感覚の周波数補正を用いて振動レベルを計算した結果、ViLA  $0$  dB 条件における振動レベルは Original と比べて  $+15$  dB 高かった。この結果は、 $70$  Hz 以下の音から生成された振動 (ViLA) の振動レベルは、ViLA と同じ振動振幅レベルを有する実振動と比べて比較的高くなることを意味する。そのため、今後 Original 振動よりも小さい値の ViLA を振幅パラメータとして用い、臨場感評価における ViLA の特徴について検討を進める必要がある。

#### 4.3 迫真性評価の特徴

迫真性の場合、振動振幅の増加にともなって印象強度が急激に増加し、 $-9$  dB 程度で最大値に達した後、振動振幅のさらなる増加にともなって評価値が急激に低下した (図 6~8)。このことは、迫真性という感性指標が、音信号の強さや映像と音の同期ずれなどの場合と同様に、臨場感と比べて振動振幅の変化により敏感に反応する性質を持つ可能性を示唆する [9], [12]。これらを確認するために、コンテンツの全  $180$  s 間にわたって臨場感と迫真性の両評価値のピークの数とを算出した。算出は、得られた臨場感、迫真性の被験者全員の平均評価値を周期  $1$  秒でサンプリングし、隣接した点との差分から前後の差分が  $0.5$  deg 以上あるうえに凸の点をピークと考え、そのときのポイント数をカウントした。臨場感と迫真性の印象強度のピーク数を図 9 に示す。図から、No vib 条件を除いて、迫真性指標におけるピーク数が臨場感より大きいことが分かる。すなわち、迫真性の評価が臨場感と比べてより変化しやす

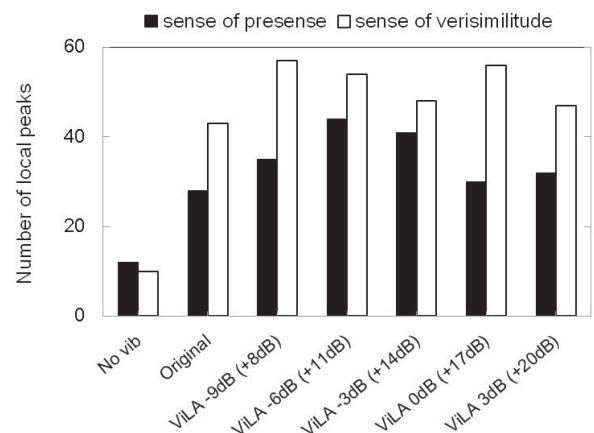


図 9 各振動条件での臨場感、迫真性の時間変化における局所ピークの数

Fig. 9 Number of local peaks for both of sense of presence and sense of verisimilitude under each vibration conditions.

く、場面の主役の動きと振動の量的変化に敏感に反応する性質を持つ感性指標であることが示唆される。ただし、No vib 条件における臨場感と迫真性のピークの数には差がなかった。この理由については、振動のない No vib 条件の場合、全区間にわたって印象強度の評価値が一定であり、臨場感と迫真性の評価値の起伏がほとんどなかったためと考えられる。

今回の実験では、迫真性の印象強度の最大値が ViLA -9dB 条件で見られたが、実際は -9dB よりも低い振動レベルでピークが表れる可能性がある。前述のように、ViLA 0dB 条件における振動レベルは Original と比べて +15dB 高かった。このため、印象評価の最大値は、Original と同じ振動レベルである ViLA 振動レベル -15dB と、今回の実験結果のピーク値 -9dB の間に位置する可能性が考えられる。すなわち、図 8 が示す迫真性の評価値のカーブを、Original と ViLA -9dB との間にピークを有する減衰と見なすことができる。先行研究 [9], [12] において、提示刺激の実測値付近に迫真性の最大値が見られることを考えると、ViLA においても実測値付近、すなわち ViLA -15dB 付近で最大評価値が得られる可能性が考えられる。一方、本実験における臨場感評価の最大値が、Original より +9dB も高い振動条件で見られたことを考えると、迫真性評価においても実測値より高い振動条件の場合に評価値が最大となる可能性も否定できない。これら振動強度の変化による ViLA と Original 振動の違いの有無については、今後パラメータを再調整してさらなる検討を行いたい。

#### 4.4 今後の課題

本研究の結果、音から生成した振動である ViLA の提示により実測床振動と同等のレベル、もしくは、振幅条件によっては実測床振動よりも印象強度が高まる場合があることが示された。一般的にマルチメディアコンテンツは視聴覚情報を含むが、振動情報は含まない場合が多く、振動の提示によって高次感性を上昇させるためには何らかの方法で振動刺激を作り出す必要がある。そのため、振動情報のどの要素がいかんして高次感性を上昇させているかを明らかにすることは、より効率の良い振動刺激の生成につながると考えられる。しかし、今回の実験結果からは、振動を構成する周波数成分や振動提示のタイミングなど、振動のどの要素が高次感性に有効であるかは明らかにされていない。これらについては、提示する振動のタイミングと振動を構成する周波数成分などをパラメータとして、さらなる検討を進めたい。

また、高次感性の継時変化の結果からは、物理的な床振動がほぼ 0 である場合においても、ViLA によりある程度の身体的な揺れを知覚させることにより、高い印象評価が得られる可能性が示唆された。バスケット試合における

ボールがゴールに当たるときやジャッジのホイッスル音などの発生タイミングに、「期待する振動」として「仮想的な振動」を提示することにより、「その場にいる以上の超臨場感体験」[24] が可能となるのではないだろうか。そのためには、コンテンツ体験者の「期待する振動」の詳細について明らかにする必要があり、今後の課題としたい。

## 5. まとめ

本研究では、視聴覚コンテンツの音信号の低周波成分 (< 70 Hz) から床振動 (ViLA) を生成し、構築した振動情報が高次感性評価にどのような影響を及ぼすかを検討した。印象強度の継時変化の結果、臨場感と迫真性ともにほぼすべての振動条件において No vib 条件より印象強度が高く、迫真性の場合には Original 条件よりも高い印象強度が得られる場合のあることを示した。コンテンツ体験後の印象評価の結果からは、-9dB と振動振幅が Original 条件に近い振動強度の場合に高い迫真性評価が得られることが分かった。また、迫真性は臨場感と異なり、物理的な感覚情報量の変化に対応する窓幅がより狭い可能性を示した。

**謝辞** 本研究の一部は、NICT 委託研究「革新的な三次元映像技術による超臨場感コミュニケーション技術の研究開発」、JSPS 科研費 16K12506、および東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究 (H27/A17) の助成を受けたものである。

## 参考文献

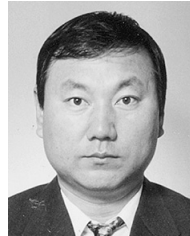
- [1] Suzuki, Y., Okamoto, T., Trevino, J., Cui, Z., Iwaya, Y., Sakamoto, S. and Otani, M.: 3D spatial sound systems compatible with human's active listening to realize rich high-level kansei information, *Interdisciplinary Information Sciences Journal*, Vol.18, No.2, pp.71-82 (2012).
- [2] 榎並和雅, 岸野文郎: 今後の超臨場感にかかわる研究はどこを目指すべきか, *電子情報通信学会誌*, Vol.93, No.5, pp.363-367 (2010).
- [3] Lombard, M. and Ditton, T.: At the heart of it all: The concept of presence, *Journal of Computer-Mediated Communication*, Vol.3, No.2 (1997).
- [4] Slater, M., Steed, A.A., McCarthy, J. and Maringelli, F.: The influence of body movement on presence in virtual environments, *Human Factors*, Vol.40, No.3, pp.469-477 (1998).
- [5] Sheridan, T.B.: Musings on telepresence and virtual presence, *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, Vol.1, No.1, pp.120-126 (1992).
- [6] 正岡顕一郎, 江本正喜, 菅原正幸, 岡野文男: 広視野・超高精細平面ディスプレイの画角と臨場感の関係, *映像情報メディア学会技術報告*, Vol.28, No.31, pp.17-20 (2004).
- [7] Ozawa, K. and Miyasaka, M.: Effects of reproduced sound pressure levels on auditory presence, *Acoustical Science and Technology*, Vol.25, No.3, pp.207-209 (2004).
- [8] 寺本 渉, 吉田和博, 浅井暢子, 日高聡太, 行場次朗, 鈴木陽一: 臨場感の素朴な理解, *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, Vol.15, No.1, pp.7-16 (2010).
- [9] 寺本 渉, 吉田和博, 浅井暢子, 日高聡太, 行場次朗, 鈴木

- 陽一:「迫真性」を規定する時空間情報, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.15, No.5, pp.483-486 (2010).
- [10] 行場次朗: 図と地の知覚—視覚の心理, 電子情報通信学会誌, pp.315-320 (1991).
- [11] Honda, A., Kanda, T., Shibata, H., Sakamoto, S., Iwaya, Y., Gyoba, J. and Suzuki, Y.: Senses of presence and verisimilitude of audio-visual contents: Effects of sounds and playback speeds on sports video, *Interdisciplinary Information Sciences Journal*, Vol.21, No.2, pp.143-149 (2015).
- [12] 本多明生, 神田敬幸, 柴田 寛, 浅井暢子, 寺本 涉, 坂本修一, 岩谷幸雄, 行場次朗, 鈴木陽一: 視聴覚コンテンツの臨場感と迫真性の規定因, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.18, No.1, pp.93-101 (2013).
- [13] 柳生寛幸, 崔 正烈, 坂本修一, 大谷智子, 鈴木陽一, 行場次朗: 多感覚情報の同期ずれが体験中の高次感性知覚に与える影響, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.20, No.3, pp.199-208 (2015).
- [14] Sakamoto, S., Hasegawa, G., Honda, A., Iwaya, Y., Suzuki, Y. and Gyoba, J.: Body vibration effects on perceived reality with multi-modal contents, *ITE Trans. Media Technology and Applications*, Vol.2, No.1, pp.46-50 (2014).
- [15] Cui, Z., Sakamoto, S., Gyoba, J. and Suzuki, Y.: Influence of visual depth and vibration on the high-level perception of reality in 3D contents, *Journal of Information Hiding and Multimedia Signal Processing*, Vol.8, No.6, pp.1382-1391 (2017).
- [16] Sakamoto, S., Cui, Z., Ohtani, T., Suzuki, Y. and Gyoba, J.: Effects of vibration information on the senses of presence and verisimilitude of audio-visual scenes, *INTER-NOISE 2016*, pp.1777-1782 (2016).
- [17] Sebastian, M. and Ercan, A.M.: The influence of vibrations on musical experience, *Journal of the Audio Engineering Society*, Vol.62, No.4, pp.220-234 (2014).
- [18] FUJITSU JOURNAL, available from (<http://journal.fujitsu.com/2018/02/16/01/>)
- [19] International Organization for Standardization: Mechanical vibration and shock — Evaluation of human exposure to whole-body vibration — Part 2: Vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz), ISO 2631-2 (2003).
- [20] Schröder, B.R. and Atal, B.S.: Computer simulation of sound transmission in rooms, *IEEE Inter. Conv. Rec.*, No.7, pp.150-155 (1963).
- [21] 日本規格協会: 振動レベル計, JIS C1510 (1995).
- [22] 松本互平: 人体の振動感覚特性と振動基準, 関西造船協会論文集, No.238, pp.147-153 (2002).
- [23] 崔 正烈, 高橋恵美, 柳生寛幸, 坂本修一, 大谷智子, 行場次朗, 鈴木陽一: 振動付加が3D映像コンテンツの高次感性評価に及ぼす影響, 電子情報通信学会技術研究報告, EMM2015-64, pp.19-23 (2016).
- [24] 榎並和雅, 岸野文郎: 今後の超臨場感にかかわる研究はどこを目指すべきか, 電子情報通信学会誌, Vol.93, No.5, pp.363-367 (2010).

## 推薦文

マルチモーダル感覚情報の提示においては, 感覚情報の特性と表出する高次感性の関係についての検討を進めることが非常に重要である. 著者らは全身振動情報が高次感性に重要な役割を果たしていることを示すとともに, 振動情報を視聴覚コンテンツの音情報から振動情報を創出する手法を提案し, その影響を評価しており, エンタテインメン

ト技術の発展に大きく寄与すると考えられるため推薦する.  
(エンタテインメントコンピューティングシンポジウム  
2017 プログラム委員長 伊藤雄一)



## 崔 正烈

2004年九州大学大学院システム情報科学府博士後期課程修了. 同年同大学COE 研究員・ユーザサイエンス機構研究員を経て, 2009年より東北大学電気通信研究所研究員, 2015年より東北大学電気通信研究所助教. 人工現実感環境生成法, 人の感性・生理・心理特性に関する研究に従事. 日本音響学会, バーチャルリアリティ学会等の会員. 博士(工学).



## 柳生 寛幸

2009年山形大学工学部電気電子工学科卒業. 2011年東北大学大学院情報科学研究科博士課程前期課程修了. 運送会社勤務を経て, 2016年東北大学大学院情報科学研究科博士課程後期課程単位取得後退学. 現在, 東北大学電気通信研究所勤務(東北大学総合技術部技術系職員). 修士(情報科学).



## 坂本 修一

1997年東北大学大学院情報科学研究科修士課程修了. 同年(株)日立製作所入社. 2000年から東北大学電気通信研究所. 現在, 同所准教授. 博士(工学). 単語知覚過程に関する研究に従事するほか, 近年ではマルチモーダル感覚情報処理過程に関する研究にも注力. 日本音響学会, 電子情報通信学会, 日本バーチャルリアリティ学会, 日本感性工学会等の学会各会員.





鈴木 陽一 (正会員)

1981年東北大学大学院工学研究科博士課程修了(工学博士)。1999年から東北大学電気通信研究所教授。3次元音空間知やラウドネス等の聴覚情報処理過程とマルチモーダル知覚過程、3次元聴覚ディスプレイの研究に従事。

2005～2007年日本音響学会会長。現在、日本VR学会評議員、同学会および電子情報通信学会、米国音響学会フェロー。著書に『音響学入門』、『聴覚モデル』、『音と時間』(いずれもコロナ社)等。



行場 次朗

東北大学大学院文学研究科心理学講座教授。1981年東北大学大学院文学研究科博士課程心理学専攻修了。信州大学人文学部助教授、九州大学文学部助教授を経て、2002年より現職。専門は視覚心理学・認知心理学。共著書、

『知性と感性の心理』(福村出版)、『視覚と聴覚』(岩波書店)等。日本心理学会、日本基礎心理学会、日本認知心理学会、電子情報通信学会各会員。